

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-173284

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平8-342435

(22) 出願日 平成8年(1996)12月6日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地

(72) 発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 永井 誠二

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内

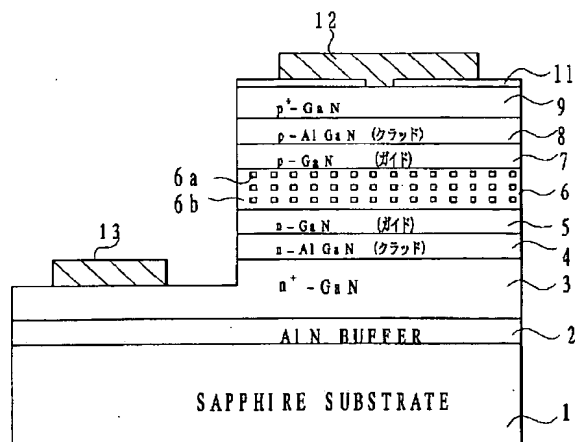
(74) 代理人 弁理士 小西 富雅

(54) 【発明の名称】 GaN系化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 高出力で低しきい値電流のGaN系化合物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 基板の微斜面のステップを利用して発光層中に量子井戸細線を形成する。即ち、ステップのある微斜面を持つサファイア基板を準備し、微斜面の上に、バッファ層、n型の半導体層及び第1のバリア層を基板のステップが維持されるように形成し、第1のバリア層のステップに量子井戸細線を形成し、量子井戸細線及び前記第1のバリア層の上に第2のバリア層を形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaN系化合物半導体で形成される発光素子であって、  
ステップのある微斜面を持つ基板と、  
前記微斜面の上に形成される発光層とを備える発光素子において、  
前記発光層は前記微斜面のステップの上方に位置する量子井戸細線を有する、ことを特徴とするGaN系化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明はGaN系化合物半導体発光素子に関し、特に発光層に量子井戸細線を有するGaN系発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】可視光短波長領域の発光素子として化合物半導体を用いたものが知られている。なかでもGaN系化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高くかつ光の3原色の1つである青色を発光することから、特に注目を集めている。

【0003】従来のGaN系化合物半導体で形成されるレーザダイオードは、基板の上に順次、バッファ層、n型の半導体層（nクラッド層、nガイド層等）、発光層、p型の半導体層（pガイド層及びpクラッド層等）を積層した構成であった。ここに、発光層は二次元的な量子井戸層とバリア層とを交互に積層してなる多重量子井戸（MQW）の構成をとっていた。

【0004】この発明に関連する文献としてJ. Cryst. Growth, Vol. 145, No. 1/4, Pages. 692-697 (1994)を参照されたい。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記構成のレーザダイオードによれば、可視光短波長領域の発光が得られる。しかし、昨今では、高出力化と低しきい値化が要求されつつある。

【0006】

【課題を解決するための手段】このような要求を達成すべく、この発明はなされた。即ち、GaN系化合物半導体で形成される発光素子であって、ステップのある微斜面を持つ基板と、前記微斜面の上に形成される発光層とを備える発光素子において、前記発光層は前記微斜面のステップの上方に位置する量子井戸細線を有する、ことを特徴とする。

【0007】二次元的な広がりを持つ従来の量子井戸層では、キャリアの閉じ込めが横方向、即ち二次元的な広がり方向において十分でない。そこで、キャリアを横方向にも閉じ込め、その自由度を小さくする方策として、量子井戸層を細線化し、いわゆる量子井戸細線（QW）を形成することが考えられる。

【0008】GaN系以外の化合物半導体においては、

断面がV字形の溝を形成し、この溝中に量子井戸を形成する半導体材料を成長させることにより量子井戸細線を形成している。しかし、本発明者らの検討によれば、GaN系化合物半導体層にかかるV字形の溝を形成し、そこに量子井戸を形成するための半導体を成長させることは困難であることがわかった。

【0009】そこで、本発明者らは鋭意検討を重ね、基板の微斜面のステップに注目してこの発明を完成した。即ち、GaN系化合物半導体を成長させる下地にステップがあると、図1に示すように、当該半導体の成長はステップ10において先ず開始される。そして、テラス20に沿って半導体層が成長し、テラス20が当該半導体層で完全に被覆され後は、この半導体層の上に更に半導体層が成長する。したがって、ステップ10より成長の開始された半導体層40が線条を形成したところで当該半導体の成長を止め、ステップ10に沿った量子井戸細線を形成する。基板の微傾斜面にはステップが幾条もあるので、各ステップ毎に量子井戸細線が形成される。その後、バリア層を形成する。各量子井戸細線は相互に間隔をとってこのバリア層中に埋設されることとなる。

【0010】このようにして量子井戸細線を形成するにはその半導体成長の制御、即ち、成長を止めるタイミングが重要になる。したがって、その成長速度（第1の成長速度）は遅くすることが好ましく、例えば、1nm/分以下とする。バリア層の成長速度（第2の成長速度）は特に限定されないが、量子井戸細線の成長速度より速くすることが好ましい。

【0011】上記の様に形成される量子井戸細線は下地のステップの上に位置する。下地のステップは基板の微斜面のステップの影響を受けたものであるから、量子井戸細線は基板の微斜面のステップの実質的な上方に位置することとなる。基板上にバッファ層、n型の半導体層及び必要に応じてバリア層を形成するとき、基板の微傾斜面のステップが維持されるようにする。即ち、コンフォーマルなステップカバレージとなるようにバッファ層、n型の半導体層及びバリア層を基板上に形成する。

【0012】

【発明の作用・効果】このような構成の量子井戸細線を発光層に有するGaN系化合物半導体発光素子によれば、高出力とレーザ発振に必要な電流の低しきい値化が達成できる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を実施例に基づいて説明する。図2は実施例のレーザダイオードを示す断面図である。このレーザダイオードは基板1の上へ順に、バッファ層2、nコンタクト層3、nクラッド層4、nガイド層5、発光層6、pガイド層7、pクラッド層8及びpコンタクト層9を積層した構成である。

【0014】各半導体層のスペックは次の通りである。

半導体層 : 組成:ドーパント(膜厚)  
 pコンタクト層9 :  $p^+-GaN:Mg$  (200nm)  
 pクラッド層8 :  $p-Al_{0.98}Ga_{0.02}N:Mg$  (1 $\mu m$ )  
 pガイド層7 :  $p-GaN:Mg$  (100nm)  
 発光層6  
 量子井戸細線6a :  $In_{0.15}Ga_{0.85}N$  (ほぼ3nm □)  
 バリア層6b :  $GaN$  (5nm)  
 nガイド層5 :  $n-GaN:Si$  (100nm)  
 nクラッド層4 :  $n-Al_{0.98}Ga_{0.02}N:Si$  (1 $\mu m$ )  
 nコンタクト層3 :  $n^+-GaN:Si$  (4.0 $\mu m$ )  
 バッファ層2 :  $AlN$  (50nm)

【0015】基板1はサファイア製であって、次の様にして調製される。有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とする単結晶サファイア板を図示しない気相反応装置内のサセプタに装着する。次に、常圧で $H_2$ を流速2 liter/minで反応装置に流しながら温度1000

℃でサファイア基板を30分間ベーキングする。  
 【0016】このとき、サファイア基板の主面はステップを有する微斜面である。この実施例では、オフ角(図1の角 $A_{off}$ )を4度とした。このオフ角は0.5~5度とすることが好ましい。また、テラス20の長さは約1 $\mu m$ であり、ライザ30の長さは約70nmである。

【0017】なお、要部を強調する説明の都合上、添付図面の各部の寸法比率は実施例の物を正確に反映していないので、注意をされたい。

【0018】上記においてバッファ層2は一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ で表される非晶質の化合物半導体で形成することができる(特開平2-229476号公報参照)。

【0019】nコンタクト層3はn型のGaN系化合物半導体で形成できる。不純物としてSi等が添加される。

【0020】nクラッド層4はn型の一般式 $Al_{1-y}Ga_{1-y}N:Y$ で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは100~1000nmとすることが好ましい。

【0021】nガイド層5はn型の一般式 $Al_{1-z}Ga_{1-z}N$ (Z1=0を含む)で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは0~200nmとすることが好ましい。

【0022】nガイド層5と発光層6との間にバンドギャップの大きなストッパ層を介在させることができる。このストッパ層は発光層中のキャリア(ホール)の閉じ込めを確実にするものである。nガイド層5には意図的な不純物を添加しても、しなくてもよい。

【0023】発光層6はバリア層6b中に量子井戸細線6aが埋設された構成である。量子井戸細線6aは一般

式 $In_xGa_{1-x}N$ (X1>0)で表される化合物半導体で形成される。実施例ではこの量子井戸細線6aの幅及び高さをそれぞれ3nm及び3nmとした。この幅及び高さはそれぞれ1~50nmとすることが好ましい。量子井戸細線6aは、図3に示すとおり、第1のバリア層106bのステップの上に形成されるので、一の平面における量子井戸細線6aの数は当該ステップの数で規定される。したがって、ステップの数がこのようになるように基板1の主面を調製する。量子井戸細線6aの垂直方向の数は特に限定されないが、1~20とすることが好ましい。量子井戸細線6aの垂直方向の間隔は、2~10nmとすることが好ましい。この間隔は第2、第3のバリア層206b、306bの層厚で調節される。

【0024】バリア層6bは一般式 $In_xGa_{1-x}N$ (0≤X2<X1)で表される化合物半導体で形成される。このバリア層6bは、図3に示すように、量子井戸細線6aを形成する毎にこれを被覆するために幾層(106b、206b、306b、...)も形成される。それぞれの層が同じ組成の場合、図2に示すように1つのバリア層6bとなる。

【0025】最下段の量子井戸細線6aはnガイド層5の上に直接形成することもできる。また、最上段の量子井戸細線6aをpガイド層7で被覆することもできる。量子井戸細線6a及びバリア層6bにはこれへ意図的な不純物を添加してもよいし、しなくてもよい。

【0026】pガイド層7はp型の一般式 $Al_{1-z}Ga_{1-z}N$ (Z2=0を含む)で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは0~200nmとすることが好ましい。

【0027】pクラッド層8はp型の一般式 $Al_{1-y}Ga_{1-y}N:Y$ で表される化合物半導体で形成することができる。その厚さは100~1000nmとすることが好ましい。

【0028】pガイド層7と発光層6との間にバンドギャップの大きなストッパ層を介在させることができる。このストッパ層は発光層中のキャリア(電子)の閉じ込めを確実にするものである。

【0029】pコンタクト層9はp型のGaN系化合物半導体で形成できる。不純物としてMg等が添加される。

【0030】各半導体層は周知の有機金属化合物気相成長法(以下、「MOVPE法」という。)により形成できる(例えば、特開平6-268257号公報、特開平8-97471号公報参照)。この成長法においては、アンモニアガスと三族元素の有機金属ガス、例えばトリメチルガリウム(TMGe)、トリメチルアルミニウム(TMA)やトリメチルインジウム(TMI)とを適当な温度に加熱された基板上に供給して熱分解反応させ、もって所望の半導体結晶を基板の上に成長させる。このMOVPE法を実行するための気相反応装置について

は、例えば、特開昭63-188934号公報を参照されたい。

【0031】図3に示すように、量子井戸細線6aはその下地となる半導体層のステップを利用して形成される。したがって、基板1の微斜面（主面）のステップが当該下地半導体層に維持されるよう、バッファ層2、n型の半導体層100（nコンタクト層3、nクラッド層4及びnガイド層5）及び第1のバリア層106bが成長される。通常のMOVPE法を実行すれば、基板1のステップに対して、実質的に均一に各層は成長し、下地となる第1のバリア層106bに量子井戸細線6aを形成するためのステップが現れる。

【0032】量子井戸細線6aはMOVPE法を実行するにあたり、成長速度を極端に遅くする。実施例では0.1nm/分である。これにより、断面がほぼ3nm□の量子井戸細線6aが得られる。成長速度の制御は原料ガス（アンモニア、TMI、TMG）の供給量を変化させることにより行う。

【0033】その後、第2のバリア層206bを量子井戸細線6aと第1のバリア層6bの上に成長させる。この第2のバリア層206bの成長速度は第1のバリア層106bと同様であり、1nm/分である。この第2のバリア層206bを通常のMOVPE法により形成すれば、図3に示すとおり、下地である第1のバリア層106bのステップが維持される。なお、第1のバリア層106bのステップには量子井戸細線6aがあるが、その高さ（約3nm）はライザの高さ（約70nm）からみて、第2のバリア層206bのステップの形成に殆ど影響しない。

【0034】バリア層6の上にp型不純物を添加した半導体層（pガイド層7、pクラッド層8及びpコンタクト層9）を形成した後、電子線照射装置を用いて、そのままの状態（as-grown）では高抵抗である半導体層へ定法に従い電子線を照射する（特開平2-257679号公報等参照）。これにより層7～9は所望の低抵抗p型となる。

【0035】このようにして形成された半導体ウェハを周知の方法でエッチングして、図2に示した半導体層構成とする。

【0036】次に、一様に酸化シリコン膜等からなる絶\*

\* 縁体膜11をpコンタクト層9の上へ積層し、スリット状の窓を開ける。そして、この窓を介して、Au/Ni製の電極12をpコンタクト層9へ接続させる。この電極12は金属の蒸着、フォトリソの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て形成される。一方、nコンタクト層3にはアルミニウムからなる電極13を蒸着により、定法にしたがい形成する。

【0037】このようにして形成された半導体ウェハを素子毎に切り分けて、所望のレーザダイオードとする。

10 【0038】この発明は、上記発明の実施の形態及び実施例の説明に何ら限定されるものではない。特許請求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形態様もこの発明に含まれる。この発明が発光ダイオードにも適用できることはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は微斜面上における半導体の成長過程を説明するための斜視図である。

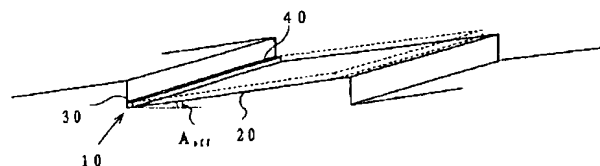
【図2】図2はこの発明の実施例のレーザダイオードを示す断面図である。

20 【図3】図3は同レーザダイオードの各半導体層の成長過程を示す断面図である。

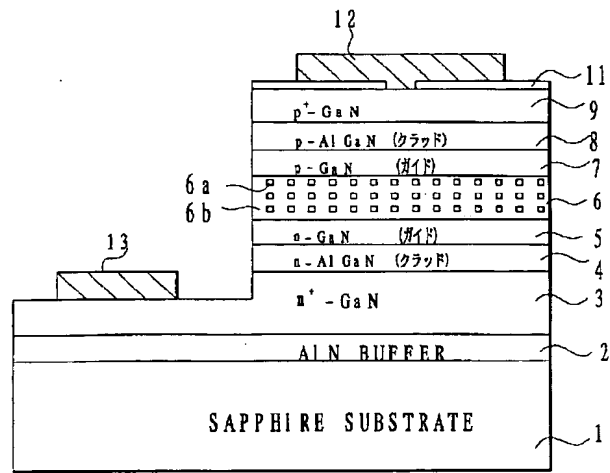
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3 nコンタクト層
- 4 nクラッド層
- 5 nガイド層
- 6 発光層
- 6a 量子井戸細線
- 6b、106b、206b、306b バリア層
- 7 pガイド層
- 8 pクラッド層
- 9 pコンタクト層
- 10 ステップ
- 11 絶縁体膜
- 12、13 電極
- 20 テラス
- 30 ライザ
- 40 半導体層

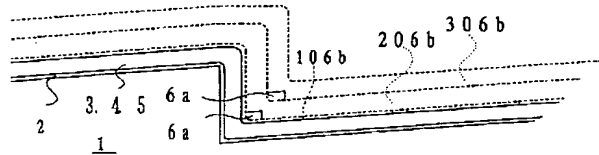
【図1】



【図2】



【図3】



(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10173284 A**(43) Date of publication of application: **26.06.98**

(51) Int. Cl.

**H01S 3/18**(21) Application number: **08342435**(22) Date of filing: **06.12.96**(71) Applicant: **TOYODA GOSEI CO LTD**(72) Inventor:  
**KOIKE MASAYOSHI  
NAGAI SEIJI  
ASAMI SHINYA**(54) **GAN-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR  
LIGHT EMITTING ELEMENT**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To lower the threshold of the current required for high outputs and laser oscillation by providing thin quantum well lines in a light emitting layer above the steps of the slightly inclined surface of a sapphire substrate.

**SOLUTION:** The main surface of a sapphire substrate 1 is slightly inclined and has steps and a light emitting layer 6 contains thin quantum well lines 6a buried in a barrier layer 6b. The quantum well lines 6a are formed of a compound semiconductor expressed by a general expression,  $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$  ( $x_1 > 0$ ). Since the lines 6a are formed on the steps of the first barrier layer, the number of the lines 6a in one plane is specified by the number of the steps. Therefore, the threshold of the current required for high outputs and laser oscillation can be lowered.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

